

氏名・（本籍） 山本 翔（愛知県）

学 位 の 種 類 博士（情報科学）

報 告 番 号 乙 第62号

学位授与年月日 2019（平成31）年 3 月19日

学位授与の要件 学位規則（昭和28年 4 月 1 日文部省令第 9 号）

第 4 条第 2 項該当

論 文 題 目 ディオプサイドのヒドロキシアパタイト析出特性とリン吸着性能に関する研究

審 査 委 員 （主査） 野 浪 亨

種 田 行 男

石 原 彰 人

河 村 典 久

寺 岡 啓

## 審査概要及び審査結果（論文）

### 〈審査請求論文の経過と論文の概要〉

申請者 山本 翔氏は、2004年 4 月、中京大学生命システム工学部身体システム工学科に入学、2008 年 3 月、同身体システム工学科卒業（学士（システム工学））、2008年 4 月同大学院情報科学研究科博士前期課程情報科学専攻入学、2010年 3 月、同情報科学研究科博士前期課程情報科学専攻修了（修士（情報科学））、2010年 4 月、同情報科学研究科博士後期課程情報認知科学専攻に入学し、2016年 3 月、同情報科学研究科博士後期課程情報認知科学専攻単位修得満期退学し、現在に至っている。この間、申請学位論文「ディオプサイドのヒドロキシアパタイト析出特性とリン吸着性能に関する研究」に至る研究を精力的に推進してきた。

本申請論文は、自治体などで用いられている、種結晶にリンを吸着させて処理する晶析脱リン法の問題点である、処理水溶液中に存在する炭酸イオンの影響によるリン吸着能低下やコスト面の問題を解決することを目的とした。そのためにはリン吸着能へ与える炭酸イオンの影響が少なく、安価な天然材料を用いることが必要である。そこで、CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>系材料に着目し、合成した材料の構造・化学的性質とリン吸着性能の関係を明らかにすることで、リン吸着に効果を発揮する天然材料に求められる条件を見出した意欲的な研究である。

論文ではまずリン資源の問題、リン回収方法の現状と課題を示し（第1章）、材料の合成方法や実験方法の詳細について記載し（第2章）、天然材料として豊富に存在する  $\text{CaO-MgO-SiO}_2$  系化合物を合成しリン吸着能を評価して、 $\text{CaO-MgO-SiO}_2$  系化合物の中でもディオプサイド結晶を含有する材料が有用であることを明らかにし（第3章）、ディオプサイド結晶の存在だけでなく、溶液中でのカルシウムやケイ素の溶出がリン吸着に重要であることを示し（第4章）、炭酸等のさまざまなイオンが存在する水溶液中での、合成および天然のディオプサイド結晶を含有する材料のリン吸着能を評価し、晶析脱リン法の種結晶としての可能性を示し（第5章）、リン回収に必要な天然材料の条件を示している（第6章）。

### 〈審査申請論文の内容と評価〉

申請者 山本 翔氏 が提出した本論文「ディオプサイドのヒドロキシアパタイト析出特性とリン吸着性能に関する研究」は、次の総計6つの章から構成されている。

第1章「序論」では、本論文のテーマの背景である様々なリン回収方法の説明と、その中での本論文の位置付けと意義、本論文の構成についてまとめている。リンは肥料、家畜の飼料、金属製品の表面処理など我々の生活において非常に多く用いられている。リンはそのほとんどがリン鉱石から採取されており、人口増加などにより世界におけるリン鉱石生産量は年々増加している。しかし、主要なリン鉱石生産国であるアメリカや中国は輸出を制限しており、日本のようにリン鉱石が産出されない国はリン資源の確保が困難になりつつある。リンは水に溶けやすく、消費したリンの多くが下水処理施設やし尿・汚泥処理施設に流入しているが、約1割程度しか回収できていないのが現状である。リン回収方法の1つである晶析脱リン法は処理水中に種結晶を投入することで、種結晶表面にリン酸カルシウムを析出させ回収する方法である。この方法は処理後のリン処理能力に優れ、回収物をそのまま肥料として用いることができるなどの利点がある。しかし、水溶液中に炭酸イオンが含まれていると種結晶表面に炭酸カルシウムが析出することがあり、処理能力が大きく低下するおそれがあり普及に至っていない。また、炭酸イオンの存在下でもリン回収に効果を発揮する種結晶の開発が今まで行われてきたが、製造コストが問題となり実用化に至っていない。そのようなリン回収方法の現状と問題点を示し、これらの問題を解決するため、晶析脱リンの種結晶として効果を発揮する天然材料の条件を見出すという本論文の目的が示されている。

第2章「実験方法」では、以降の章で用いた試料の合成方法や実験・評価方法について記載している。

第3章「固相反応法により合成した  $\text{CaO-MgO-SiO}_2$  系化合物のリン酸カルシウム析出特性」では様々な  $\text{CaO-MgO-SiO}_2$  系化合物のリン酸カルシウム析出特性を評価し、その中でもディオプサイド結晶を含有する材料が晶析脱リン法の種結晶として優れた効果を発揮する可能性があることを明らかにしている。

第4章「ゾル-ゲル法により合成したディオプサイドのリン酸カルシウム析出特性」では、リン酸カルシウムの析出にはディオプサイド結晶の存在だけでなく、同時に非晶質成分が存在しカルシウムやマグネシウムを多く溶出することが重要であることを示した。

第5章「ディオプサイドのリン吸着特性」では、ディオプサイド結晶を含有する材料は炭酸イオンが含まれている水溶液中でもリンを吸着することができることを明らかにした。さらに比表面積が大きいほどリンを吸着する可能性があることを明らかにした。

第6章「結論」では、本研究を総括し、晶析脱リン法の種結晶として効果を発揮する天然材料に求められる条件を示し、今後の展望に関して述べている。

### 〈審査申請論文のオリジナリティーの調査〉

本論文のオリジナリティーについて、当該審査委員会の調査結果について報告する。特に論文剽窃

チェックツール「iThenticate（アイセイティケイト）」の結果は以下の通りである。

- ・類似性指標は全体で15%であった。
- ・類似性が見られた箇所・内容については、参考文献における記述部分との一致、もしくは執筆者本人の公開論文との一致であった。
- ・本文における執筆者本人の主張を記述した部分には、剽窃や当用が疑われるような重大な類似性は見られなかった。

以上の結果を当該審査委員会において確認し、本論文のオリジナリティーについて問題ないと判断した。

### 〈研究推進の評価〉

これらの研究によって生み出された成果について報告する。本論文の内容は、幾つかの学術論文としてまとめられ、国際会議及び国内会議・研究会・シンポジウムにおいて発表の機会を得ており、研究内容が関連学会において十分な認知を得ている。

具体的には、本論文に直接的に関係する査読付き学術論文として、Journal of the Australian Ceramic Society 誌に1件、Transactions of the Materials Research Society of Japan 誌に2件、Journal of Bio-Integration 誌に1件、国際学会発表としては、4件、国内学会としては、4件の申請者本人が筆頭著者となっている発表がなされている。

### 〈審査結果〉

以上の審査結果を総合的に判断して、本審査委員会は、申請者 山本 翔氏 の提出した論文は、論文博士〈情報科学〉の学位論文として十分に適格であることを認め、全員一致にて「合」と判定したので、ここに報告する。

## 審査概要および審査結果（最終試験）

### 1. 口頭試問の実施

当審査委員会は最終試験にかえて、2018年10月24日の予備審査委員会、ならびに2019年1月28日の公聴会において、申請者に論文内容に関する口頭発表を求めるとともに、専攻分野における学識と研究能力を審査するための口頭試問を行った。

### 2. 既刊論文の調査

当審査委員会は、2018年9月12日の学位審査申請時点で、申請者を筆頭著者とし、かつ、第3者の査読を経て発表されている関連論文を調査し、以下の学術論文3、4件目の2編がそれに該当することを確認した。なお、第2回審査委員会時点において学術論文2件目については発表されていることを、学術論文1件目については採録が決定されていることを確認した。

# [学術論文]

著者氏名 (全員・記載順)	著書、論文、邦訳著者及び 研究報告（発表）の題目	出版社名、記載雑誌名（巻号・頁） 又は発表学会名等	発行又は 発表の年
山本翔、柴田浩史、 畑奏一朗、小柳亮樹、 野浪亨	ディオプサイドのリン酸8カル シウム析出特性を応用したリン 酸吸着の検討	Journal of Bio-Integration（バイオ インテグレーション学会誌）、 （採録決定）	2019-2 （予定）
S. Yamamoto, N. Kawamura, T. Nonami	Diopside Synthesized by Sol-gel Method as Phosphorus Adsorption Material: Evaluation of Apatite Deposition in Pseudo Body Solution	Transactions of the Materials Research Society of Japan（日本 MRS 学会誌）, Vol. 44, No. 1, pp. 17-23	2019-1
S. Yamamoto, K. Osakabe, T. Nonami	Effect of Carbonate Ions on the Adsorption of Phosphorus by Diopside in Aqueous Solution	Transactions of the Materials Research Society of Japan（日本 MRS 学会誌）, Vol. 43, No. 3, pp. 129-133	2018-6
S. Yamamoto, T. Nonami, H. Hase, N. Kawamura	Fundamental Study on Apatite Precipitate Ability of CaO-MgO-SiO <sub>2</sub> Compounders Employed Pseudo Body Solution of Application for Biomaterials	Journal of the Australian Ceramic Society（オーストラリアセラミッ クス協会誌）, Vol. 48, No. 2, pp. 180-184	2012-2

# [国際会議]

著者氏名 (全員・記載順)	著書、論文、邦訳著者及び 研究報告（発表）の題目	出版社名、記載雑誌名（巻号・頁） 又は発表学会名等	発行又は 発表の年
S. Yamamoto, K. Osakabe, T. Nonami	Effect of Containing the Carbonate Ion in Aqueous Solution on Phosphorus Adsorption of Diopside	International Union of Materials Research Societies The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS ICAM 2017)	2017-8
S. Yamamoto, H. Hase, N. Kawamura, T. Nonami	Diopside Synthesized by Sol gel Method for Phosphorus Adsorption Material: Evaluation of apatite deposition in pseudo body solution	Water and Environment Technology Conference 2016 (WET2016)	2016-8
S. Yamamoto, T. Nonami, T. Taniguchi	Adsorption Amount Evaluation of Phosphorus in Diopside	7th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT 2013)	2013-6
S. Yamamoto, T. Nonami, H. Hase, N. Kawamura	Fundamental Study on Apatite Precipitate Ability of CaO, MgO, SiO <sub>2</sub> Compounders Employed Pseudo Body Solution of Application for Biomaterials	The 9th International Meetings of Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PacRim9)	2011-7

## 3. 最終試験結果

当審査委員会は、上記1. および2. の結果から、申請者 山本 翔 氏は、専攻分野における十分な学識と研究能力を有すると判断し、全員一致で最終試験は「合」としたのでここに報告する。

## 審査経過

2018年 9 月12日	論文受理
2018年 9 月12日	論文博士審査委員会設置（研究科委員会）
2018年10月24日	予備審査会（口述発表、口頭試問） 第1回予備審査委員会
2019年 1 月22日～28日	論文公示
2019年 1 月28日	公聴会（口述発表、口頭試問） 第2回予備審査委員会
2019年 2 月13日	研究科委員会に審査結果の報告 投票による可否の判定